Eclairage

- Eclairage, Grandeurs Photométriques, Sources ...

Eclairage, Grandeurs Photométriques, Sources ...

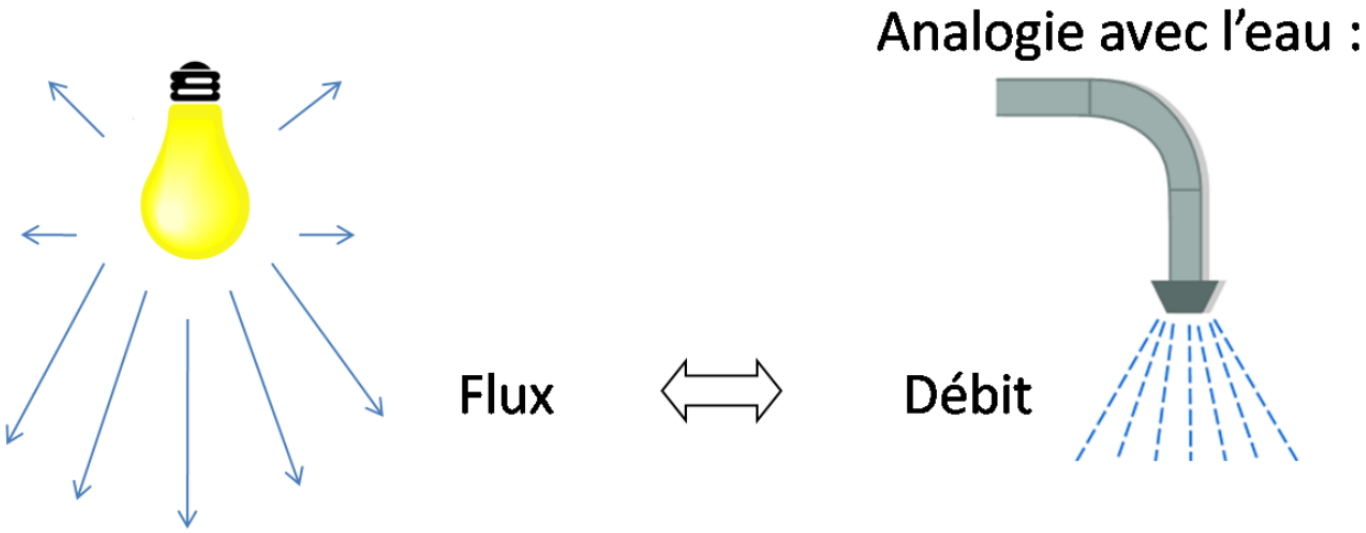
Les grandeurs photométriques

Les phénomènes lumineux sont objectivement mesurables et quantifiables par le biais des grandeurs photométriques. Les principales grandeurs utiles pour un projet d'éclairage sont :

Le flux lumineux

Le flux lumineux représente la quantité d'énergie émise par unité de temps. Le flux lumineux est l'une des caractéristiques des sources lumineuses données par les fabricants.

- Le flux lumineux est noté ϕ
- Unité : le Lumen [Lm]



Efficacité Lumineuse

L'efficacité lumineuse d'une source est le rapport entre le flux lumineux ϕ émis par cette source et la puissance électrique P absorbée par la source.

L"efficacité lumineuse η vaut par définition : $$\boxed{\eta=\frac{\phi}{P}}$$

Unité : le lumen/Watt [lm/W]

Quelques exemples :

- Halogène 15 à 25 lm/W
- Lampe fluocompacte 50 à 90 lm/W
- Tube fluorescent 80 à 105 lm/W
- LED 70 à 303 lm/W (2022) (avant intégration dans un luminaire)

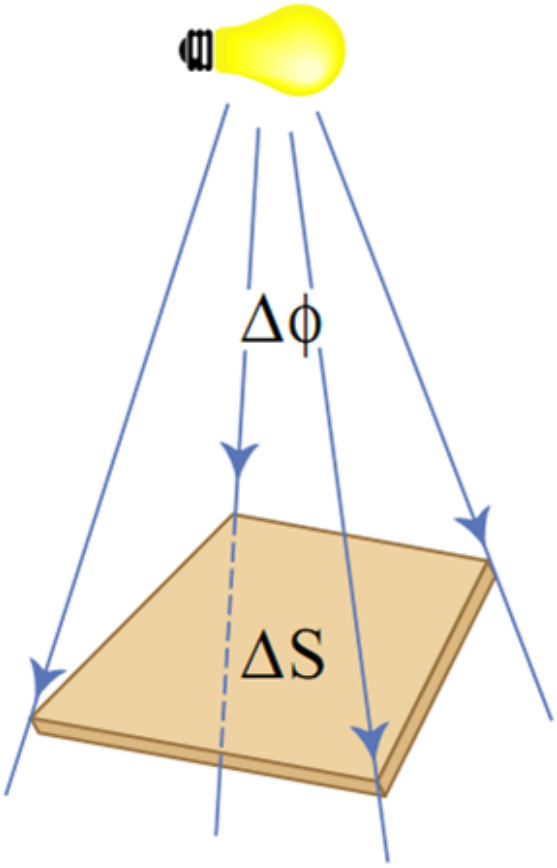
Si l'on utilise une LED à 150lm/W, on va consommer 10x moins d'électricité qu'avec une halogène à 15lm/W à flux équivalent.

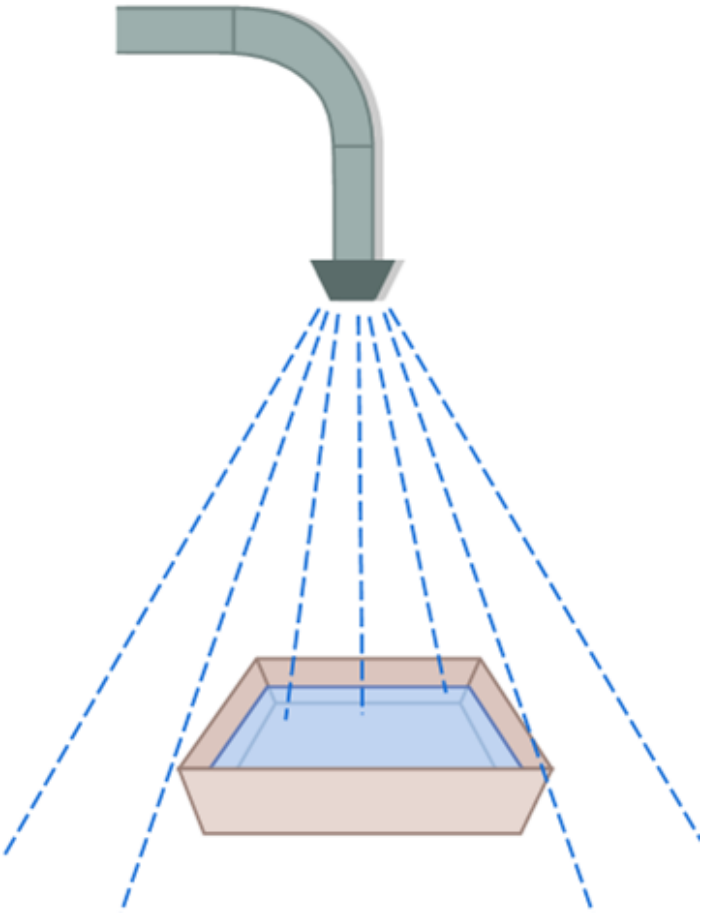
La course au lm/W ne fait pas tout, quid de la qualité de la lumière, de la durée de vie, ... ?

L’éclairement

L’éclairement désigne le flux reçu par unité de surface.

- Unité : Lux [Lx] ou Lumen/m² [Lm/m²]
- 1 Lux = 1 Lumen/m²





L’éclairement se mesure avec un **luxmètre**. C’est un appareil muni d’une cellule photoélectrique (qui transforme l’énergie de rayonnement en énergie électrique). Un filtre restitue une courbe de

réponse identique à celle de l’œil humain. La surface de la cellule doit en outre être revêtue d’un filtre diffusant qui joue le rôle de correcteur d’incidence.



Exemples d’éclairement

- Une surface d’1m² bénéficiant d’un éclairement uniforme de 100 Lux reçoit un flux de 100 Lumen.
- Une surface de 5 m² recevant un flux de 2000 Lumen bénéficie d’un éclairement moyen de 400 Lux.

Quelques ordres de grandeur

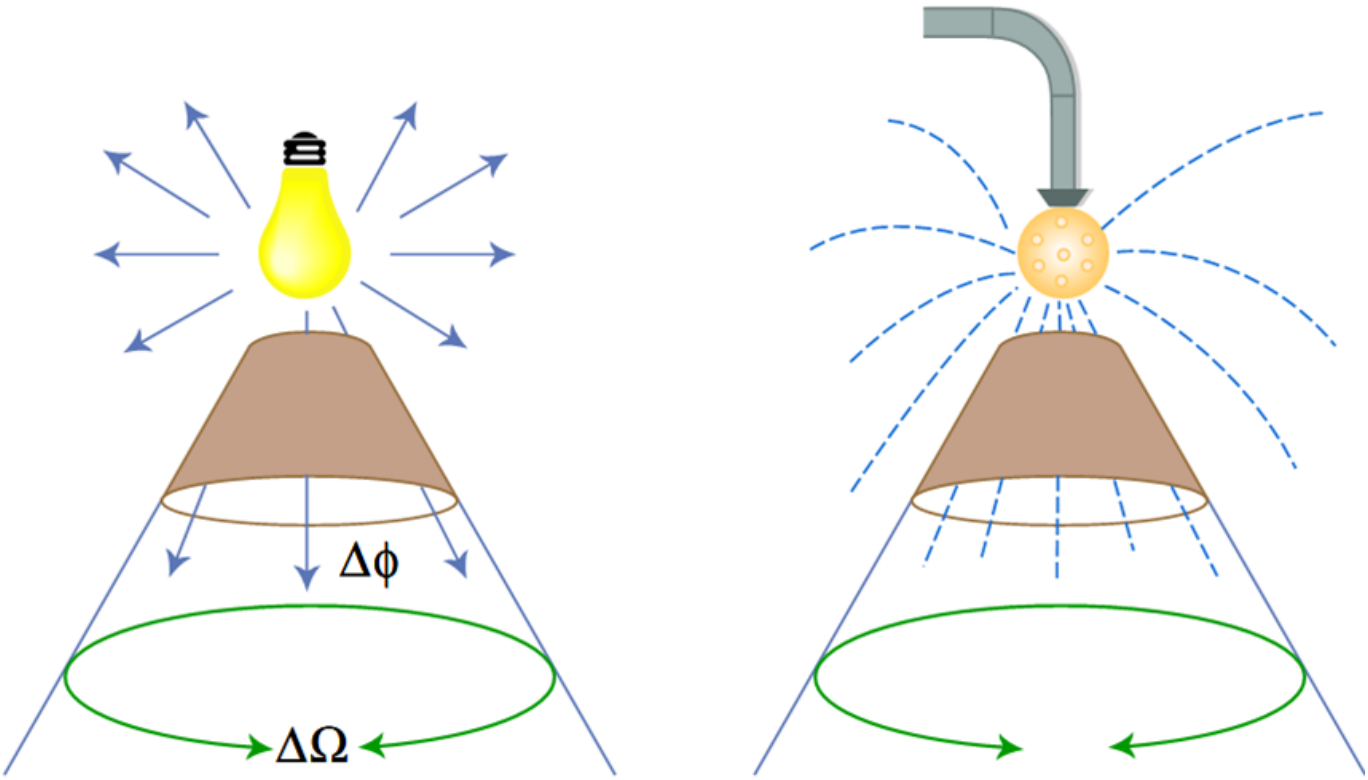
- Un éclairement de 500 Lux est préconisé pour une salle de classe.
- Par nuit de pleine lune, le niveau d’éclairement est inférieur à 0,1 Lux.
- Par ciel couvert, il varie entre 8000 et 20000 Lux selon la saison.
- En été par ciel dégagé, il peut atteindre 100 000 Lux.

L’intensité lumineuse

L’intensité lumineuse est égale au flux lumineux émis par unité d’angle solide dans une direction donnée, perçue par l'œil humain. Elle est notée I.

- Unité : Candela [Cd] ou Lumen/Stéradian [Lm/Sr]

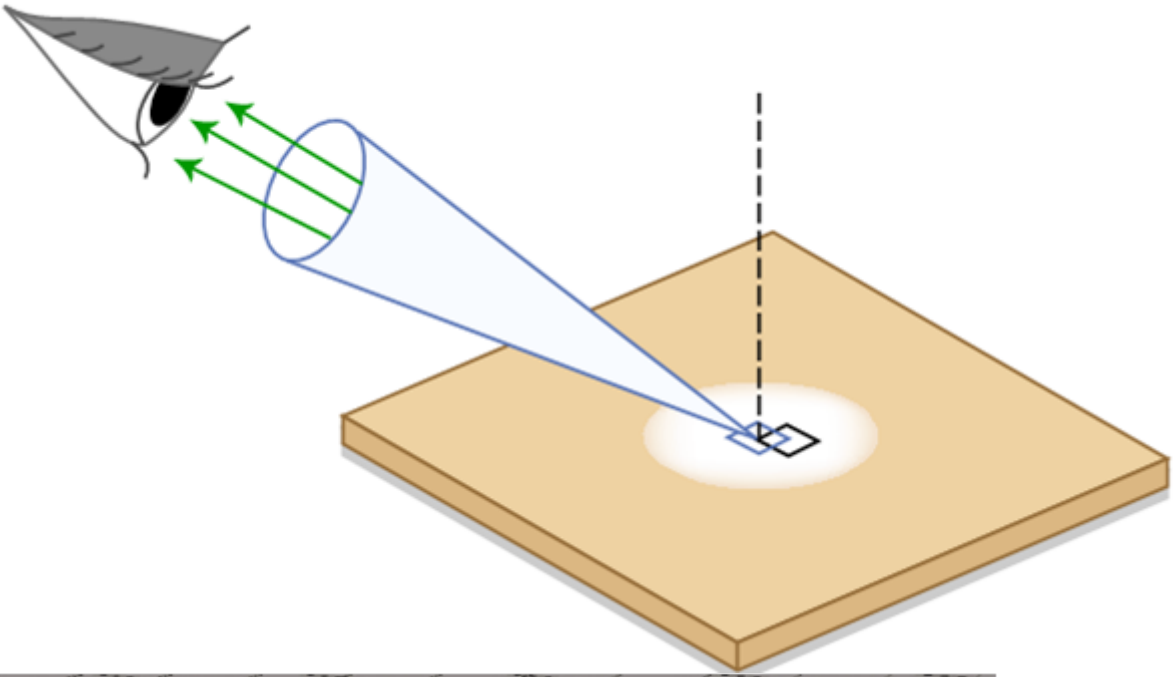
- 1 Candéla = intensité lumineuse d’une bougie

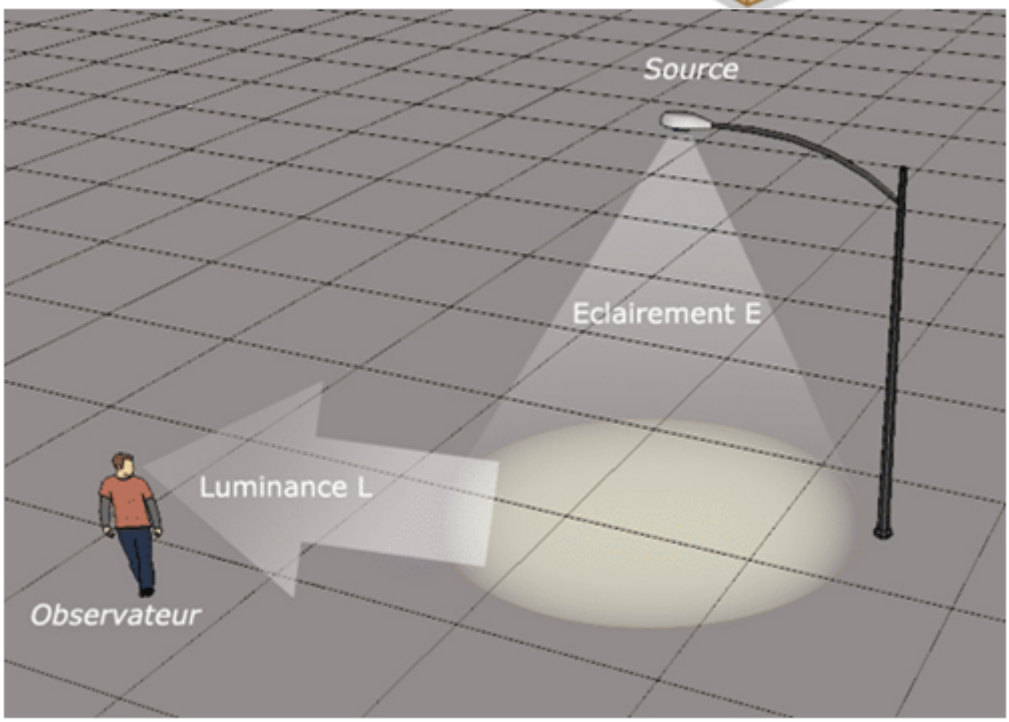


La luminance

La luminance d’un objet ou d’une source caractérise l’intensité lumineuse émise par un élément de surface dans une direction donnée, rapportée à la surface apparente de cet élément relative à cette direction. La luminance est la seule grandeur photométrique perçue par l’œil humain. Elle correspond à la sensation visuelle de luminosité causée par la surface des objets présents dans le champ visuel (objets éclairés).

- Unité : Candela/m2 [Cd/m²] ou Lumen/Stéradian.m² [Lm/sr.m²]

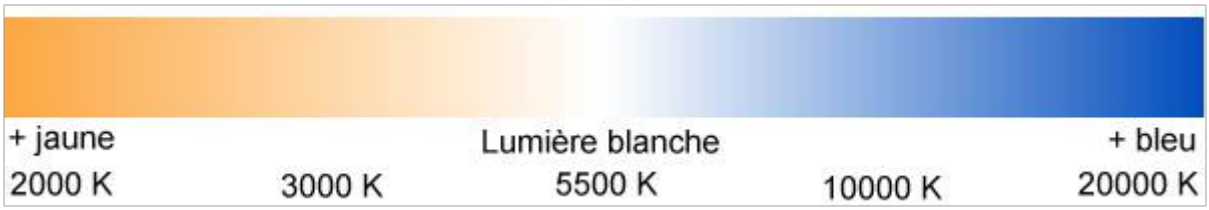




Exemple: un écran de PC entrée de gamme Luminance = 250cd/m², haut de gamme = 600cd/m²

Température de couleur d’une source (TC)

C’est Lord Kelvin qui a eu l’idée de comparer les variations de couleur de la lumière du jour avec celles d’un corps non coloré (le corps noir) que l’on chauffe à haute température et qui passe successivement du rouge, au jaune, au blanc et enfin au bleu. Il propose ainsi une comparaison commode pour caractériser les illuminants naturels ou artificiels.



Un température de couleur correspond à une couleur (teinte).

Quelques gamme standard de température de couleur pour les sources lumineuses :

- 2700K blanc qui tire fortement sur le jaune-orange -> chambre à coucher
- 3000K blanc qui tire un peu moins sur le jaune -> salon, cuisine
- 4000K le blanc qu'on utilise pour travailler -> salle de TD, usine, atelier
- 5000K le blanc tire sur de petites nuances de bleu -> pas toujours apprécié, à réserver pour éclairer entre 11h et 15h, période où le corps demande ce type de lumière.



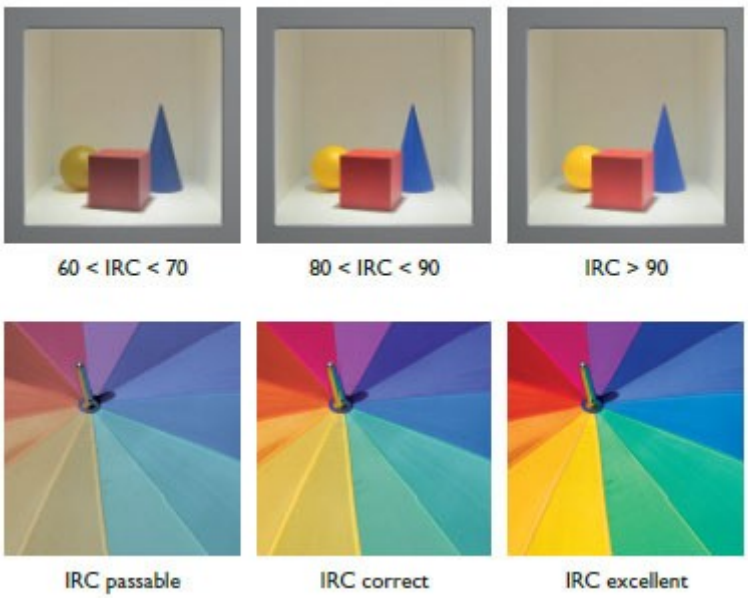
La température de couleur est importante pour le cycle biologique de l'humain :

- une TC de 2700K (Jaune) agit comme le coucher de soleil et stimule les hormones liées au repos,
- une TC de 5000K simule le pic de lumière de la journée et stimule les hormones liées à la productivité

Certains luminaires Led émulent les cycles lever-midi-coucher du soleil en effectuant une gradation continue de la température de couleur.

Indice de rendu des couleurs : IRC

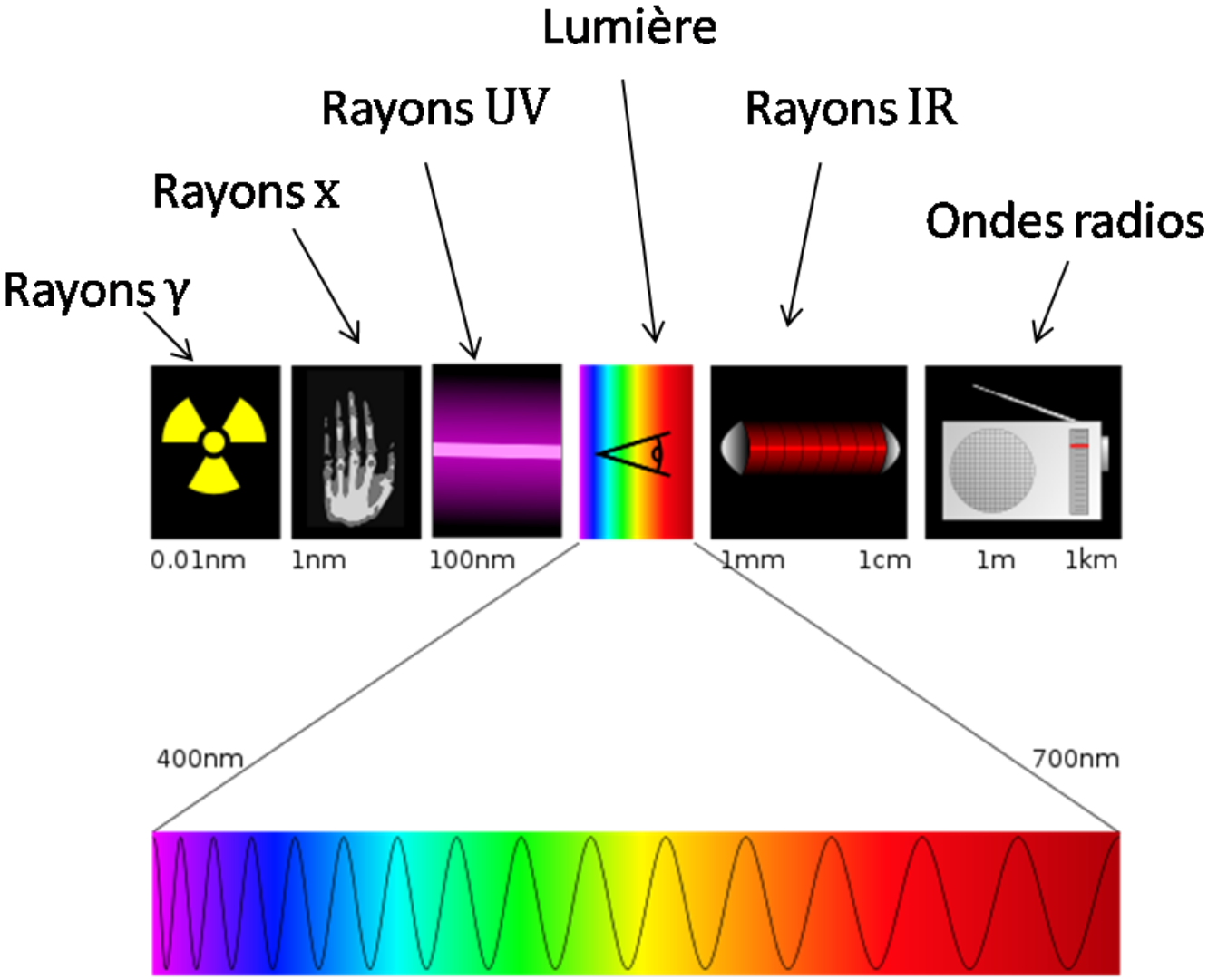
L'Indice de Rendu des Couleurs (à ne pas confondre avec la température de couleur) définit `l'aptitude d'une source à nous faire distinguer toutes les couleurs`. La valeur maximale d'IRC est 100. La lumière du jour a un IRC de 100. Les source LED grand public ont un IRC de 80, les haut de gamme ont un IRC de 90.



IRC	Qualité de rendu des couleurs
IRC > 90	Excellent
80 < IRC < 90	Agréable
60 < IRC < 80	Médiocre
40 < IRC < 60	Très médiocre

Origine de l'IRC

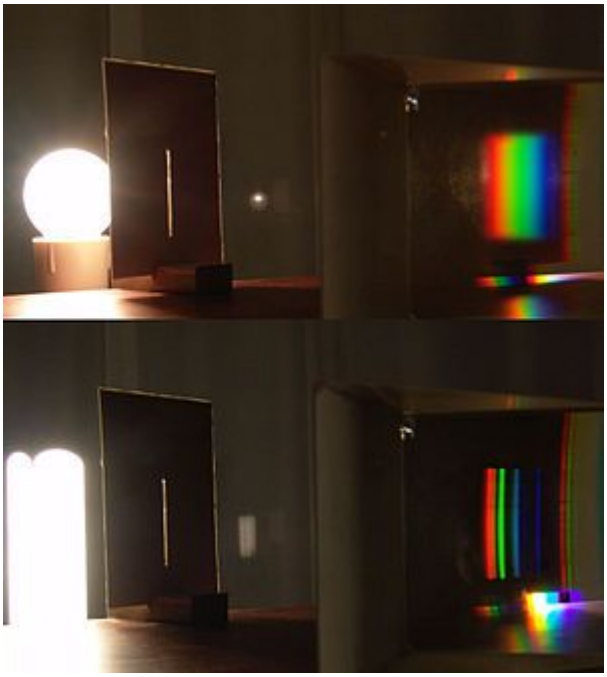
La lumière désigne les ondes électromagnétiques visibles par l'œil humain, c'est-à-dire comprises dans des longueurs d'onde de 380nm (violet) à 780nm (rouge).



Couleur	Limites (nm)
Ultra Violet	< 380
Violet Foncé	380 - 420
Violet	420 - 440
Bleu	440 - 460
Bleu-vert	460 - 510
Vert	510 - 560
Jaune	560 - 610
Orange	610 - 660
Rouge	660 - 780
Infra-Rouge	> 780

Une source de lumière artificielle doit être capable de reproduire le spectre de lumière visible, l'intégralité de la gamme des longueurs d'onde ainsi qu'une certaine homogénéité dans l'amplitude du spectre.

- On remarque que les sources fluo (tube ou fluocompacte), on un spectre discontinu avec des gammes de longueur d'ondes manquantes
- Les Leds d'entrée de gamme souffrent souvent d'une composante spectrale bleue prépondérante face aux autres composantes.
- Les Les haut de gammes possèdent une meilleurs homogénéité de spectre et donc, un meilleur IRC.



Source LED

Depuis 2012, les sources Leds remplacent progressivement les sources halogène, fluorescentes et sodium, aussi bien pour l'éclairage tertiaire qu'urbain. Les Leds ont rapidement dépassé l'efficacité lumineuse des sources fluorescentes, puis sodium, permettant des réductions de consommation énergétique, couplé à une excellente durée de vie.





Décorer sans dégager de chaleur.



Eclairer des corniches



Baliser et signaler









Évolution de l'efficacité lumineuse

- 2006 : 40 lm / W
- 2008 : 50-80 lm / W
- 2017 : 80-150 lm / W
- 2022 : 150 - 220 lm / W

Avantages

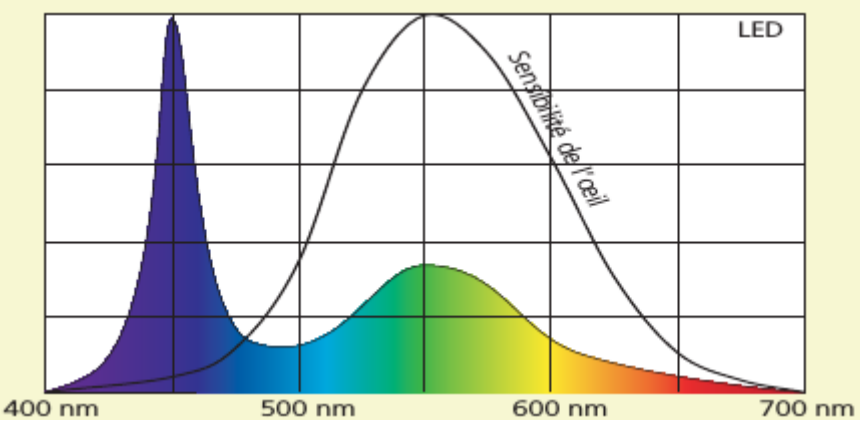
- Durée de vie : Après 50 000 h, 70 % du flux initial soit pour une application bureau environ 18 ans sans maintenance .
- Choix en matière d’ambiance lumineuse : 2700 K à 6500 K
- Possibilité de gradation de 0 à 100 %
- Allumage instantané
- Une bonne qualité de lumière (en blanc chaud, IRC supérieur à 80)
- Pas de chaleur rayonnée dans le faisceaux lumineux
- Pas d’émission d’UV
- Petites dimensions & faible poids
- Robustesse

Inconvénients

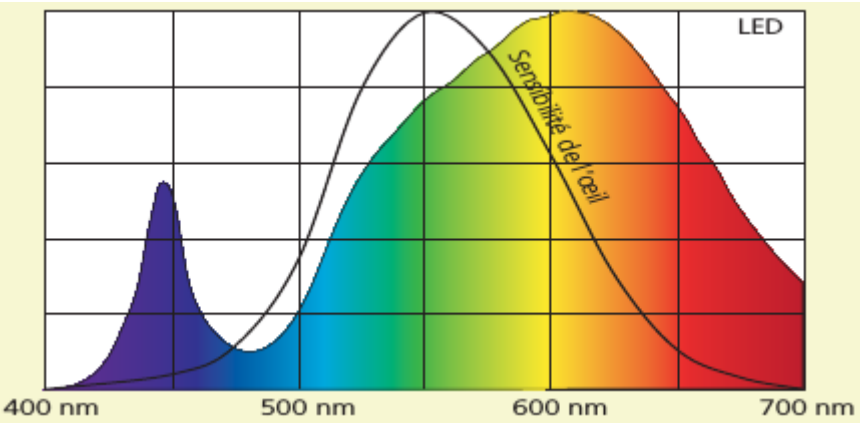
- Il faut une électronique dédiée pour piloter une LED
- Les LED ne supportent pas les hautes températures (> 40°C)
- Les LED bleues ainsi que les LED blanches contiennent un spectre bleu de forte intensité dangereux pour la rétine si elles entrent dans le champ de vision, même périphérique. Ceci est bien sûr proportionnel à leur puissance, et devient de plus en plus préoccupant. Les LED à IRC de 90 limitent ce phénomène et sont à préconiser pour les lieux de petite

enfance.

Spectre de la LED pour $\neq$ IRC



Pour le spectre de cette LED, on remarque une forte composante de Bleu au détriment des composantes spectrales associées à la sensibilité de l'oeil. Cette source LED low-cost possède un IRC compris entre 70 et 80 ce qui est passable.



Pour le spectre de cette LED, la composante spectrale de Bleu est diminuée au profit des composantes spectrales associées à la sensibilité de l'oeil. Cette source LED possède un IRC supérieur à 90 ce qui est très bonne qualité.

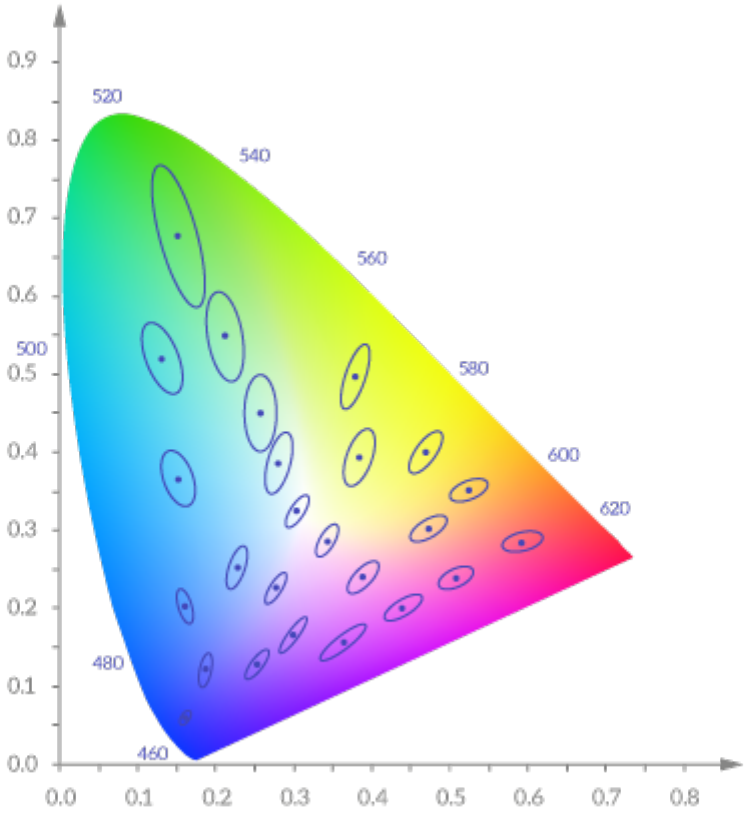
Les Sources LED avec un IRC faible ont souvent la meilleure efficacité énergétique,

- pour de l'éclairage urbain, on privilégie l'efficacité lumineuse,
- pour un atelier de carrosserie, on privilégie l'IRC de 90.

Ellipse de McAdam et SDCM

Les caractéristiques de production des LED sont très variables et nécessitent donc un tri spécifique appelé *binning*, pour assurer l’homogénéité du flux mais également générer des couleurs suffisamment proches.

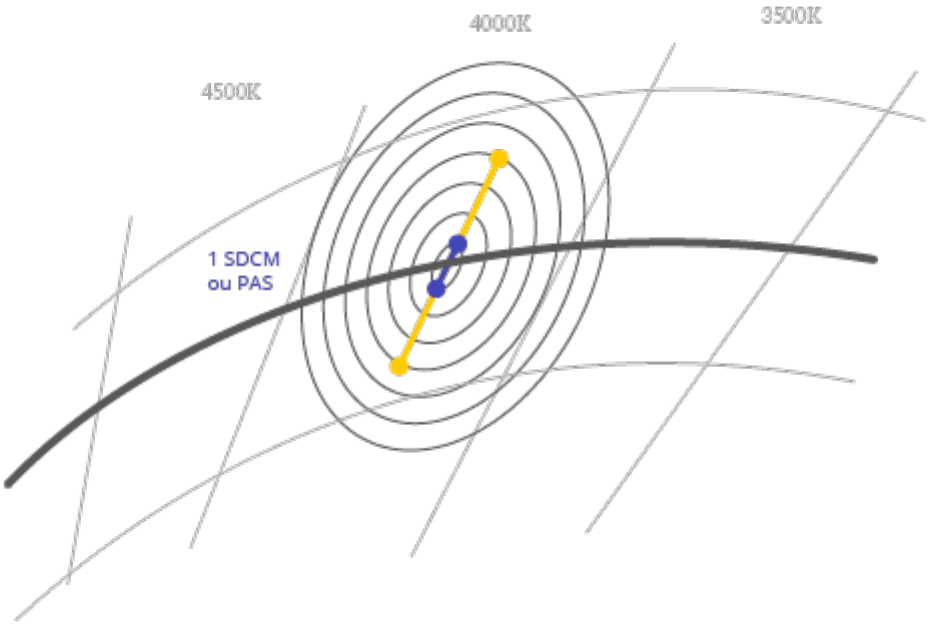
Le concept d’ellipse de McAdam, permet de définir des espaces colorimétriques d’un même aspect dans le diagramme CIE.

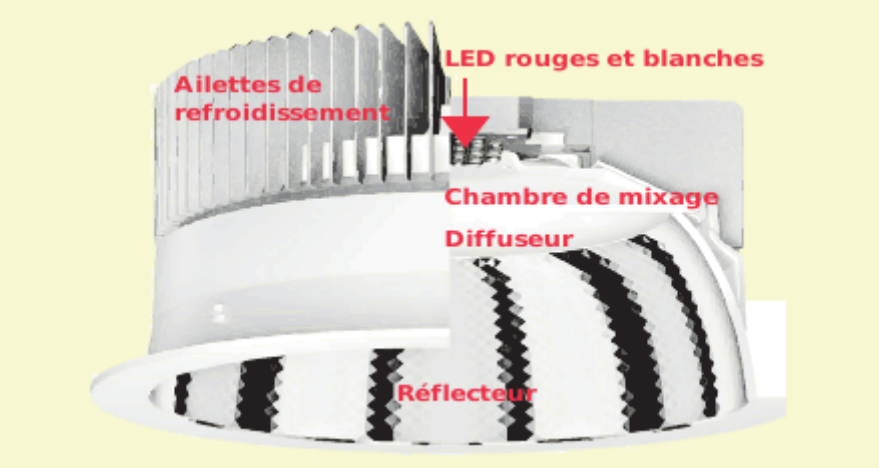


Définition

Ellipse de McAdam : zone du diagramme de chromaticité CIE 1931 en forme d’ellipse où la couleur située au centre de l’ellipse ne peut être distinguée de toutes les autres couleurs contenues dans l’ellipse (zone de confusion colorimétrique visuelle). La taille de l’ellipse permet de déterminer la zone dans laquelle une couleur peut varier, soit à l’état initial, soit à maintenir : plus la taille est faible, plus étroite sera la tolérance chromatique.

Le SDCM (Standard Deviation Colour Matching) permet de caractériser la taille de l’ellipse de McAdam.

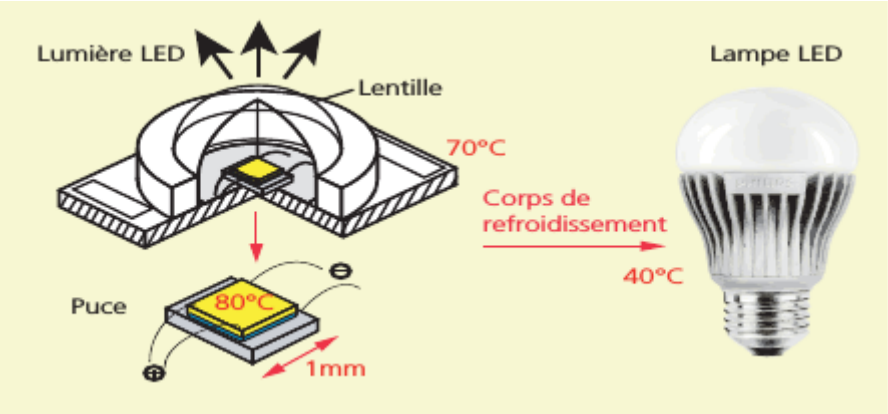




- Le SDCM est un chiffre compris entre 1 et 8
- plus le chiffre est petit, plus l'ellipse aura des dimensions faibles et plus étroite sera la tolérance chromatique.
- Les LED de qualité sur le marché proposent un SDCM 3 ou 4.
- Les teintes dévient avec le viellissement.
  - Une source LED peut avoir un SDCM de 3 à l'achat et un SDCM de 5 après 6 000 h d'utilisation

Durée de vie des LED

Bien qu'elle émettre peu d'infrarouge comparé à une lampe halogène, la Led chauffe et il est nécessaire d'assurer une bonne dissipation thermique si l'on souhaite atteindre une durée de vie > 10 000h.



Une codification est utilisée de manière classique pour exprimer la durée de vie : en effet, comme toutes les sources, le flux lumineux d'un module LED diminue tout au long de sa durée de vie.

Quelques paramètres (pour une durée de vie donnée) :

Signification	Notation	Exemple
% du flux initial	L	L70 signifie que le module fournira 70% de son flux initial
% de LED en dessous de la valeur L	B	L70B10 signifie que 10% des LED seront en dessous des 70% du flux initial ou que 90% des LED seront au dessus des 70% du flux initial
% de LED défectueux	C	C10 signifie que 10% des LED sont défectueux
% total des LED en dessous de la valeur L	F (combinaison B et C)	L70F10 signifie que 10% des modules seront considérés comme défectueux ou possédant une valeur inférieure à 70% au flux initial

Un module LED pourra donc être caractérisé avec un tableau reprenant par exemple les valeurs des L90F10, L90F50, L80F10, L80F50, L70F10 et L70F50 en fonction des conditions de température Tp (température de performance) mesurée au point Tc (température critique) positionné par le fabricant des LED sur le module :

Tp	L90F10 (h)	L90F50 (h)	L80F10 (h)	L80F50 (h)	L70F10 (h)	L70F50 (h)
45°C	36 000	39 000	> 60 000	> 60 000	> 60 000	> 60 000
55°C	27 000	30 000	51 000	> 60 000	> 60 000	> 60 000
65°C	20 000	22 000	38 000	44 000	> 60 000	> 60 000
75°C	15 000	16 000	29 000	32 000	49 000	56 000
Flux minimum des LED après la durée de vie annoncée (en % du flux initial)	81%	45%	72%	40%	63%	35%

Un standard efficace a vu le jour pour résumer les caractéristiques photométriques d'une source :

	1er chiffre	2 et 3ème chiffre	4ème chiffre	5ème chiffre	6ème chiffre
Définition	Dizaine du R_a de l'IRC	Millier et centaine de la température de couleur	SDCM initial	SDCM à 25% de la durée de vie (maximum 6 000 h)	Dizaine du % flux lumineux après 25% de la durée de vie (maximum 6 000 h) par rapport au flux lumineux initial
Exemple	7	45	3	5	9
Signification	R_a de l'IRC compris entre 70 et 79	Température de couleur de 4 500 °K	Taille de l'ellipse de Mc Adam à l'allumage de 3	Taille de l'ellipse de Mc Adam à 25% de la durée de vie (maximum 6 000 h) de 5	Flux initial maintenu après 25% de la durée de vie (maximum 6 000 h) supérieur à 90%

Alimentations LED

Pour alimenter les LEDs en tension continue, il est nécessaire dans le cas d'un réseau monophasé de placer une alimentation (driver) entre la source LED et le réseau électrique.

Driver LED

Important : Le flux lumineux d'une LED est proportionnel au COURANT !

Il existe deux familles de driver :

- Driver à courant constant (le + fréquent)
- Driver à tension constante (pour bandeaux leds)

Dans ces driver, il existe des sous familles :

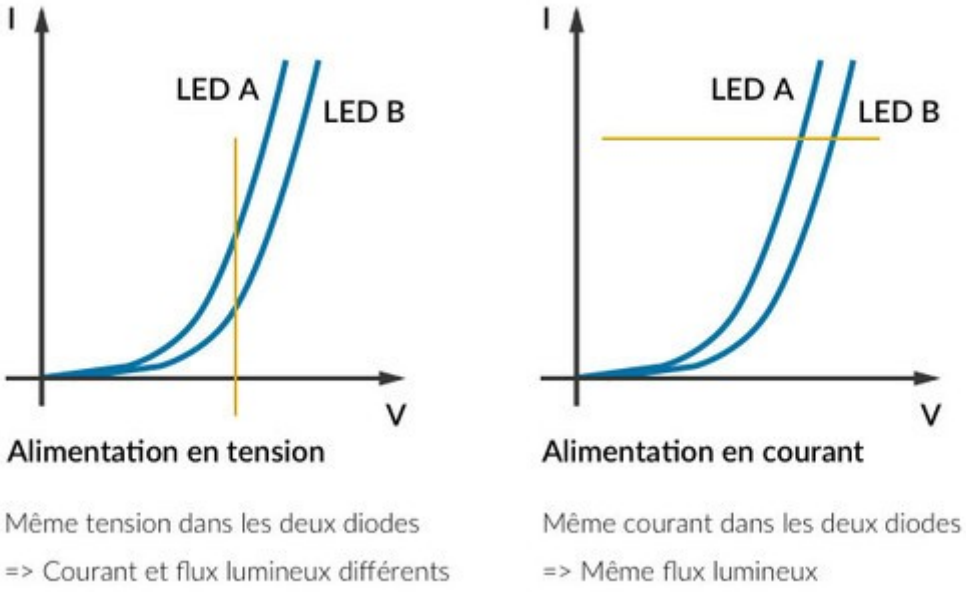
- à sortie fixe
- à sortie variable (dimmable)
- à interface DALI, DMX, ...

Quels sont les paramètres à vérifier :

- Puissance du driver (à calculer en fonction de la charge)
- Pour une source à courant constant : la plage de tension de sortie possible
- Pour une source à tension fixe : le courant max qui peut être fourni
- Le facteur de puissance du driver
- La durée de vie en fonction de la température de fonctionnement
- Les THD, la compatibilité CEM...

Alimentation source de tension / source de courant

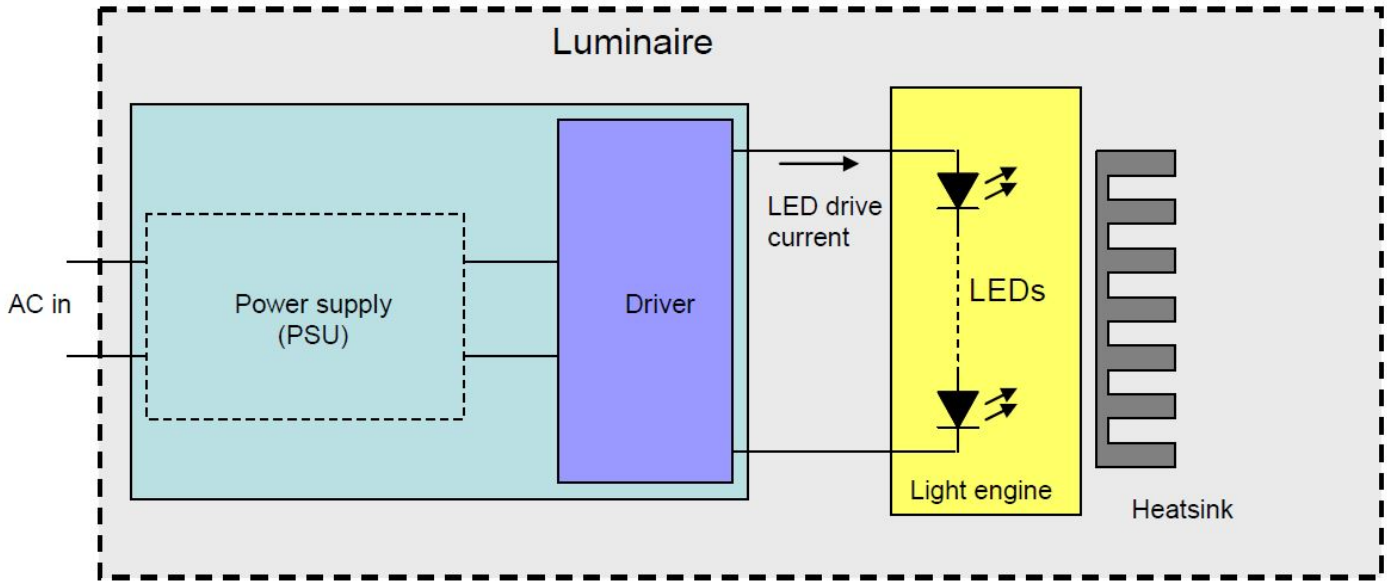
- Plusieurs diodes montées en série, donc parcourues par le même courant, émettrons chacune le même flux.
- Si elles sont montées en parallèle, chaque LED sera alimentée par la même tension, et parcourue par un courant différent du fait de la dispersion de la caractéristique Courant (I)/Tension (V), et émettra donc un flux différent.

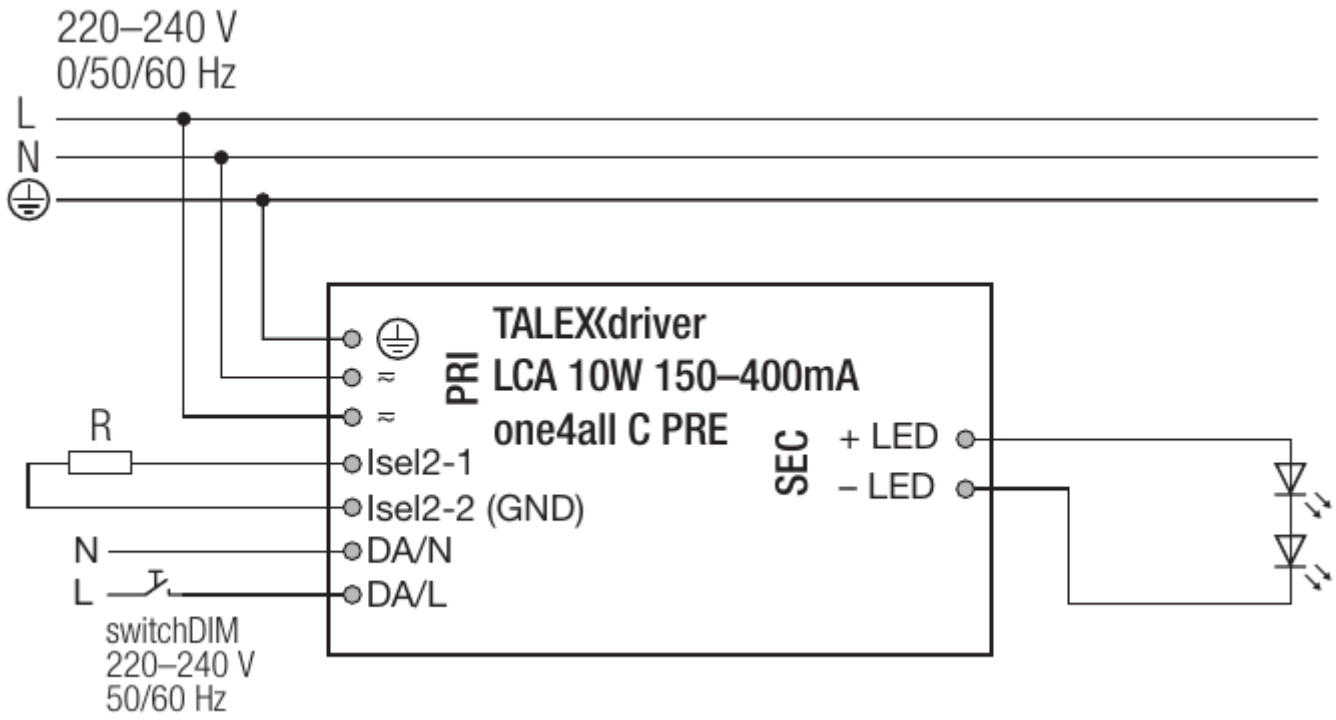


- Les bandeaux LEDs se basent sur des LEDs branchées en parallèle pour être sécables, d'où l'utilisation de sources de tension.
- Les luminaires LEDs classiques ont un driver source de courant.

Alimentation source de courant

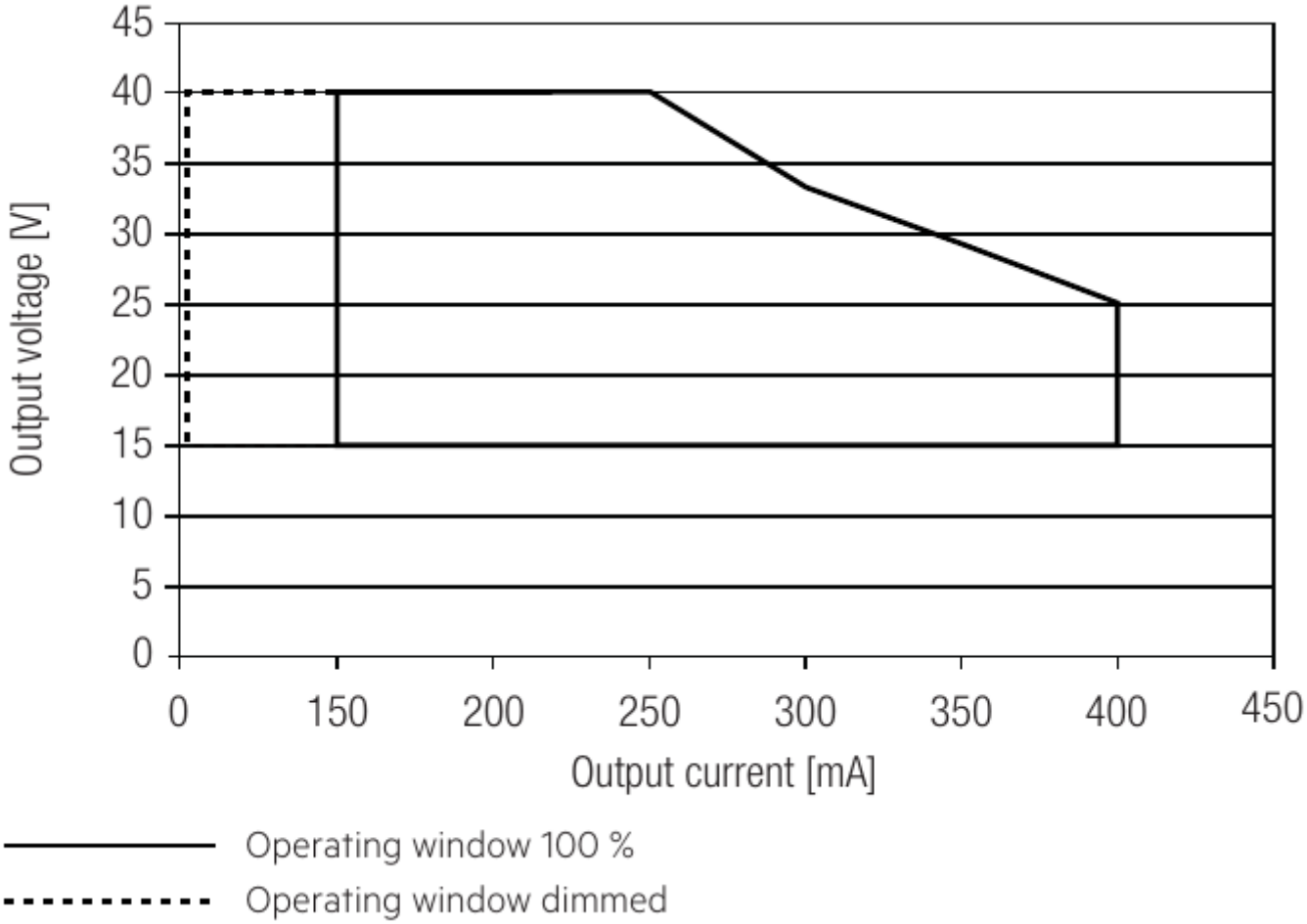
Une alimentation source de courant permet de maintenir un courant constant dans la charge quel que soit la tension vue aux bornes de la source (dans un certain interval) Une modulation PWM permet de régler la valeur du courant fourni à la LED.





Le driver LED ci-dessus permet de générer du courant jusqu'au courant max de réglage de 400mA pour une puissance de 10W.

Différents réglage de courant max sont possible :



- pour un courant réglé à 400 mA, la tension max de sortie du driver est de 25V
- pour un courant réglé à 250 mA, la tension max de sortie du driver est de 40V
- pour un courant réglé à 150 mA, la tension max de sortie du driver est de 40V également.

Association avec une source LED

On souhaite associer le driver de courant avec la source LED dont les caractéristiques sont les suivantes:

Product description

- Ideal for linear and panel lights
- Luminous flux range from 1,000 – 2,430 lm
- LED system solution with outstanding system efficacy up to 156 lm/W, consisting of squared LED modules and dimmable LED Driver LCA 50W 150–400mA lp PRE
- Efficacy of the module up to 169 lm/W
- High colour rendering index CRI > 90
- Small colour tolerance MacAdam 3①
- Small luminous flux tolerances
- Colour temperatures 3,000 and 4,000 K



QLE 250x250mm 1250lm ADV5

Specific technical data

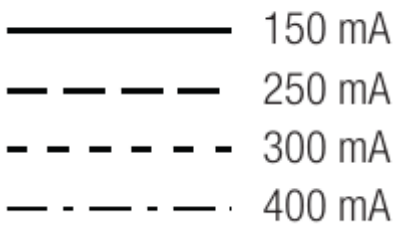
Type[4]	Photo-metric code	Typ. luminous flux at tp = 25 °C[3]	Typ. luminous flux at tp = 45 °C[3]	Typ. forward current	Min. forward voltage at tp = 45 °C	Max. forward voltage at tp = 25 °C	Typ. power consumption at tp = 45 °C[3]	Efficacy of the module at tp = 25 °C	Efficacy of the module at tp = 45 °C	Efficacy of the system at tp = 45 °C	Colour rendering index CRI
QLE 250x250 / 270x270 mm – Operating mode NM at 200 mA											
QLE 250x250mm 1250lm 930 ADV5	930/359	970 lm	930 lm	200 mA	27.0 V	31.0 V	5.7 W	168 lm/W	162 lm/W	149 lm/W	> 90
QLE 250x250mm 1250lm 940 ADV5	940/359	1,010 lm	960 lm	200 mA	27.0 V	31.0 V	5.7 W	175 lm/W	169 lm/W	156 lm/W	> 90

Le driver est il adapté ?

Réponse

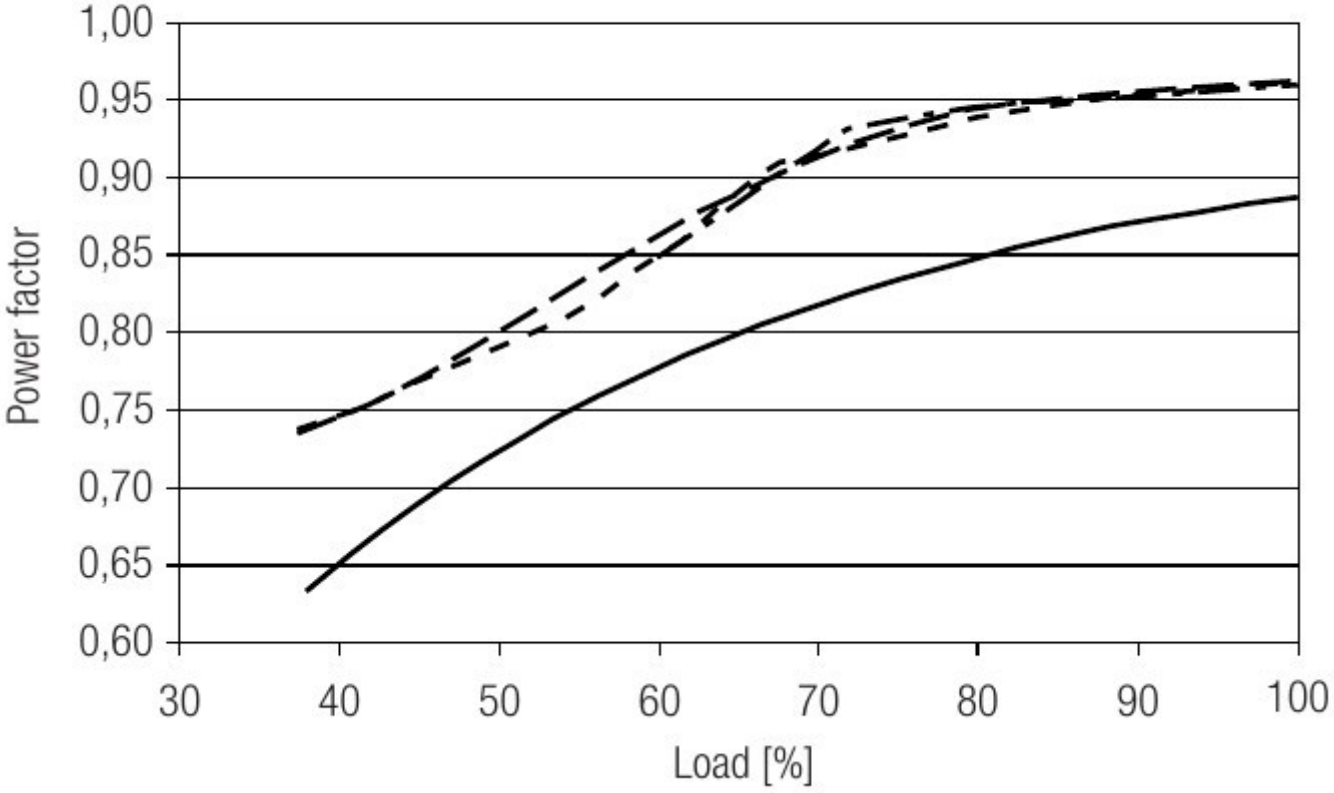
- le courant du driver peut être réglé entre 150 et 400 mA, cette source Led demande 200 mA -> OK
- la tension demandée par la source est au maximum de 27V pour 45°C, le driver est capable de fournir 40V pour 200 mA -> OK
- d'autres aspects sont à vérifier mais sont hors cadre de l'exercice.

Caractéristiques de la source de courant



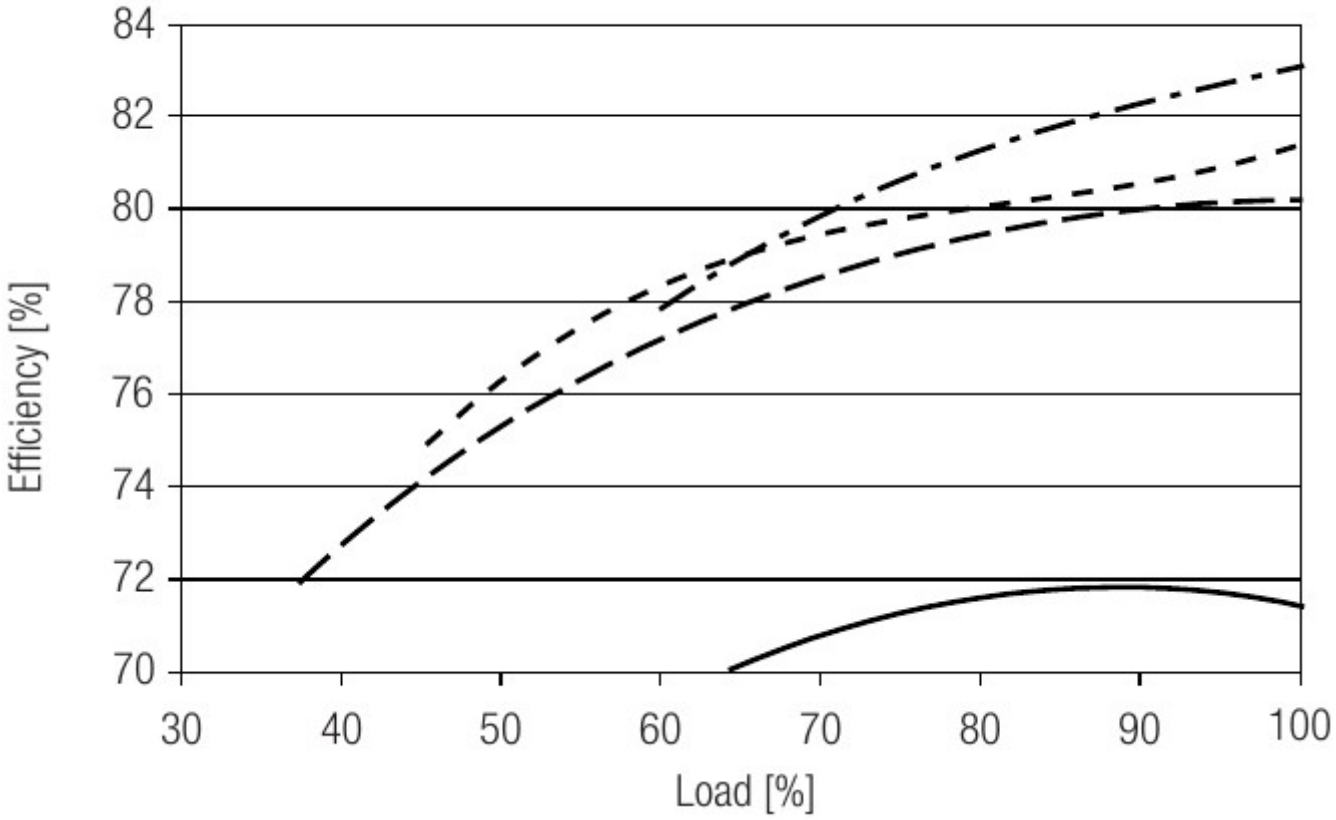
Le facteur de puissance dépend de la charge et augmente avec celle-ci.

4.3 Power factor vs load



Le rendement du driver dépend de la charge et augmente avec celle-ci.

4.2 Efficiency vs load



Remarques

- Le driver est prévu pour obtenir les meilleurs performances sous une charge de 100% avec courant max à 400mA.
- Quand on effectue de la gradation, la consommation de la LED diminue, mais le rendement du driver diminue également.

Il est de choisir l’alimentation (driver) adaptée à la source LED que vous souhaitez piloter. Si vous restez chez un même fabricant pour les sources LEDs et l'alimentation, les préconisations sont données dans la documentation. Si vous faites du mixage, il est nécessaire de vérifier la compatibilité des caractéristiques électriques entre l'alimentation et la source LED.